

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

О. Д. Азаров
О. В. Шапошніков
С. М. Захарченко

**КОНВЕЄРНІ АНАЛОГО-ЦИФРОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ
З ВАГОВОЮ НАДЛИШКОВІСТЮ**

Монографія

УНІВЕРСУМ – Вінниця

2006

УДК 681.335
А35

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор Володарський Є.Т.
доктор технічних наук, професор Кветний Р.Н.

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 4 від 27.10.2005 р.)

Азаров О. Д., Шапошніков О. В., Захарченко С. М.,
А35 Конвеєрні аналого-цифрові перетворювачі з ваговою надлишковістю. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ Вінниця, 2006. – 157 с.

ISBN

У монографії розглянуто принципи побудови високопродуктивних конвеєрних аналого-цифрових перетворювачів, побудованих на неточних елементах. Для забезпечення необхідного рівня точності використовується спеціальна процедура самокалібрування, що базується на введенні вагової надлишковості. Запропоновано низку оригінальних рішень як на рівні структур та алгоритмів функціонування, так і на рівні реалізації окремих аналогових вузлів.

Книгу розраховано на науковців, аспірантів, студентів та фахівців, які займаються проектуванням і розробкою інформаційно-вимірювальних систем і приладів, а також систем цифрового реєстрування й оброблення аналогових сигналів.

УДК 681.335

ISBN

© О. Азаров, О. Шапошніков, С. Захарченко, 2006

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	7
1. АНАЛІЗ СТАНУ ТЕХНІКИ ВИСОКОПРОДУКТИВНОГО АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ.....	9
1.1. Сучасні методи побудови конвеєрних АЦП.....	9
1.2. Аналіз методів підвищення продуктивності конвеєрних АЦП.....	19
1.3. Огляд принципів введення надлишковості у високопродук- тивні АЦП.....	23
2. МЕТОДИ ОРГАНІЗАЦІЇ ВИСОКОПРОДУКТИВНОГО КОН- ВЕЄРНОГО АЦ-ПЕРЕТВОРЕННЯ З ВАГОВОЮ НАДЛИШ- КОВІСТЮ.....	27
2.1. Метод формування нерозривної шкали при конвеєрному АЦ-перетворенні.....	27
2.2. Каскадна організація конвеєрного АЦ-перетворення з нерозривною шкалою.....	35
2.3. Структурна побудова високопродуктивних конвеєрних АЦП	44
2.4. Аналітичний зв'язок рівня надлишковості шкали з інструментальними похибками елементної бази.....	54
3. ВИСОКОТОЧНІ САМОКАЛІБРОВАНІ КОНВЕЄРНІ АЦП ІЗ ВАГОВОЮ НАДЛИШКОВІСТЮ.....	62
3.1. Аналіз статичних похибок конвеєрних АЦП.....	62
3.2. Методи калібрування статичних похибок високопродуктив- них конвеєрних АЦП.....	70
3.3. Аналіз ефективності введення надлишковості в нерозривні шкали самокаліброваних конвеєрних АЦП.....	78
4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ ВИСОКОПРО- ДУКТИВНИХ САМОКАЛІБРОВАНИХ КОНВЕЄРНИХ АЦП У СИСТЕМАХ РЕЄСТРУВАННЯ ТА ОБРОБЛЯННЯ АНАЛО- ГОВИХ СИГНАЛІВ.....	95

4.1. Побудова систем оброблення аналогових сигналів на базі високопродуктивних самокаліброваних конвеєрних АЦП.....	95
4.2. Використання високопродуктивних конвеєрних АЦП у системах реєстрації аналогових сигналів.....	104
4.3. Рекомендації щодо проектування аналогової частини конвеєрних АЦП із ваговою надлишковістю.....	112
4.4. Розробка програмних засобів для моделювання високопродуктивних конвеєрних АЦП із ваговою надлишковістю.....	132
ЛІТЕРАТУРА.....	141
ДОДАТКИ.....	153
Додаток А. Деякі сучасні моделі АЦП, що випускаються виробниками електронних компонентів.....	153
Додаток Б. Побудова перетворювача α -коду, що входить до складу паралельного α -АЦП.....	156

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЦ-	—	аналого-цифрове
АЦЗ	—	апарат цифрового запису
АЦМЗ	—	апарат цифрового магнітного запису
АЦП	—	аналого-цифровий перетворювач
БАЦВ	—	блок аналого-цифрового врівноваження
БЕАВ	—	блок еталонних аналогових величин
БМК	—	базові матричні кристали
БУ	—	блок управління
ВІС	—	великі інтегральні схеми
ДЗС	—	джерело зарядового струму
ЕОМ	—	електронно-обчислювальна машина
Зт	—	блок затримки кодів
ІС	—	інтегральні схеми
ІФ	—	інтерфейс
К	—	комутатор
Кл	—	ключ
Кс	—	каскад врівноваження
НПСЧ	—	надлишкова позиційна система числення
ОЗП	—	оперативний запам'ятовуючий пристрій
ОП	—	операційний підсилювач
ПАМ	—	програмована аналогова матриця
ПВЗ	—	пристрій вибірки-зберігання
ПЗ	—	програмне забезпечення
ПЗП	—	постійний запам'ятовуючий пристрій
ПІ	—	перетворювач інформації
ПК	—	перетворювач кодів
ПЛМ	—	програмована логічна матриця

ПФІ	—	перетворювач форми інформації
САПР	—	система автоматизованого проектування
СП	—	схема порівняння
СПІ	—	системний перетворювач інформації
СЦОП	—	спеціалізований цифровий обчислювальний пристрій
СЦР	—	системи цифрової реєстрації
ТДОН	—	термостатичне джерело опорної напруги
ТДОС	—	термостатичне джерело опорного струму
Ф	—	фільтр
ХП	—	характеристика перетворення
ЦАП	—	цифроаналоговий перетворювач
ЦБУ	—	центральний блок управління
ЦОМ	—	цифрові обчислювальні машини
ЦОС	—	пристрій цифрової обробки сигналів
DC	—	сигнал, що не змінюється у часі
DeMUX	—	демультиплексор
DSP	—	пристрій цифрової обробки сигналів
MUX	—	мультиплексор
SNR	—	співвідношення сигнал / шум
TDH	—	сумарний коефіцієнт гармонік

ВСТУП

Під час створення цифрових систем передавання та оброблення сигналів, систем автоматичного управління із застосуванням цифрових обчислювальних машин (ЦОМ), систем цифрового звукозапису й відтворення сигналів, інформаційно-вимірювальних та контрольно-діагностичних систем однією з актуальних проблем є розробка високоточних, швидкодіючих (високопродуктивних) аналого-цифрових (АЦП) й цифроаналогових перетворювачів (ЦАП), а також створення високопродуктивних систем цифрового реєстрування й оброблення аналогових сигналів [1-3].

У теперішній час відома значна кількість різновидів ЦАП і АЦП. Покращення їхніх технічних характеристик виконується переважно двома шляхами: удосконаленням елементної бази шляхом покращення технології виготовлення та удосконаленням структур і алгоритмів функціонування [1, 3].

Перший напрямок має назву конструктивно-технологічного і передбачає широке використання нових фізичних явищ, технологій і досягнень мікроелектроніки для покращення параметрів АЦП і ЦАП [1]. Однак по мірі підвищення потреб до метрологічних характеристик АЦП і ЦАП, що виготовлюються на основі гібридної та інтегральної технології, виникають фундаментальні технологічні обмеження, які обумовлені стабільністю параметрів аналогових вузлів, а також обмеженнями точності припасування їх параметрів у процесі виготовлення [1-12].

Другий напрямок пов'язано із уведенням структурної надлишковості у вигляді додаткових блоків, використання яких дозволяє покращити характеристики (частіше швидкість), не змінюючи при цьому алгоритм функціонування, а також уведення додаткових елементів та блоків у поєднанні з удосконаленням алгоритмів функціонування, що дозволяє проводити коригування отриманого результату перетворення.

Основними перевагами використання конвеєрних АЦП є висока швидкість перетворення та низький рівень споживання потужності, які у поєднанні з низькою вартістю їх реалізації за КМОН технологією, роблять їх привабливими для користувачів. Але у зв'язку з тим, що за рахунок використання існуючої технології виготовлення мікросхем конвеєрних АЦП досягається низький рівень точності конвеєрного АЦ-перетворення, яка переважно визначається відхиленням параметрів від заданих значень пристроїв вибірки-зберігання (ПВЗ), пристроїв підсилення різниці, похибок каскадних АЦП та ЦАП [13]. Якщо відхилення параметрів ПВЗ та похибки каскадних АЦП можна

зменшити за допомогою цифрового коригування, то коригування похибок, що вносяться часом усталення каскадних пристроїв підсилення різниці та ЦАП, а також похибок нелінійності каскадних ЦАП, є досить складною задачею, яка потребує додаткового розв'язання.

Одним із підходів, що застосовується у структурах конвеєрних АЦП для коригування похибок, що вносяться каскадними АЦП, ЦАП, ПВЗ та підсилювачем різниці, є використання перекриття на один і більше розрядів [13], а також структурна схема може ускладнюватися шляхом введення додаткових ПВЗ, буферних підсилювачів і т.п.

Для досягнення високої роздільної здатності крім високих вимог до точності каскадних ЦАП, дуже важливо точно встановити коефіцієнт підсилення каскадних підсилювачів різниці та врахувати напругу зсуву, а також забезпечити низький температурний та часовий дрейф характеристик усього конвеєрного АЦП [3, 4, 13, 14].

Значна кількість продукції світових лідерів аналого-цифрової техніки фірм Analog Devices, Burr-Brown, Maxim, Exar, Datel, Intersil (Harris), Linear Technology, National Semiconductor, Philips та Signal Processing Technologies є пристроями АЦ-перетворення, побудованих за конвеєрною архітектурою [15-40]. Однак, використання відомих методів та підходів у конвеєрних АЦП дозволяють досягти тільки 8-12 бітів роздільної здатності.

Одним із перспективних методів комплексного вирішення проблеми підвищення точності та швидкодії АЦП іншої архітектури, АЦП послідовного наближення, є використання інформаційної надлишковості, зокрема, у вигляді надлишкових позиційних систем числення (НПСЧ) [1, 5-12]. Використання НПСЧ у техніці АЦП та ЦАП почалося в Україні з кінця 70-х років і продовжується під керівництвом О.Д.Азарова [1, 5-12]. Значну кількість розроблених рішень у цьому напрямку було запатентовано ще у колишньому СРСР [41-50]. Проте, тільки одну роботу [50] спрямовано на питання підвищення точності конвеєрних АЦП, у якій конвеєрний АЦП виконаний на основі коду Фібоначчі або коду “золотої” пропорції для підвищення точності перетворювання. Підвищення точності досягається шляхом введення режиму метрологічного контролю, в якому використовуються властивості симетричного вимірювального війкового коду. Недолік такого конвеєрного аналого-цифрового перетворювача полягає в тому, що метрологічний контроль дозволяє лише фіксувати наявність похибки, яка перевищує задані межі, а не коригувати її.

Особливості функціонування конвеєрних АЦП не дають можливості використовувати відомі підходи підвищення точності та швидкодії порозрядних АЦП шляхом інформаційної надлишковості і тому потребують додаткових детальних досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Азаров А. Д. Разработка теории аналого-цифрового преобразования на основе избыточных позиционных систем счисления: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.11.16 /Винниц. политехн. ин-т.-Винница, 1994. – 44 с.
2. Гельман М. М. Системные аналого-цифровые преобразователи и процессоры сигналов. – М.: Мир, 1999. – 559 с., ил.
3. Брагин А. А., Семенюк А. Л. Основы метрологического обеспечения аналого-цифровых преобразователей электрических сигналов. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 165 с., ил.
4. Харт Х. Введение в измерительную технику: Пер. с нем. – М.: Мир, 1999. – 391 с., ил.
5. Біліченко Н.О. Розробка методів та пристроїв високоточного аналого-цифрового перетворення з перерозподілом заряду на основі інформаційної надлишковості: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.05 /Вінниц. держ. техн. унів. – Вінниця, 2001. – 24 с.
6. Крупельницький Л. В. Аналогові пристрої самокоригуючих АЦП для систем вимірювання та обробки низькочастотних сигналів: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.11.16 /Вінниц. політехн. ін-т. – Вінниця, 1994. – 22 с.
7. Стейскал В.Я. Быстродействующие самокорректирующиеся аналого-цифровые преобразователи для высококачественной цифровой магнитной записи: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.05/ Ин-т киберн. НАН Украины - Киев, 1987 – 24 с.
8. Азаров А. Д. Исследование принципов построения и разработка преобразователей информации на основе кодов с иррациональными основаниями: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.11.16/ Харьк. политехн. ин-т. – Харьков, 1980. – 16 с.
9. Захарченко С.М. Исследование и разработка самокалибрующихся АЦП с накоплением заряда на основе избыточных позиционных систем счисления: Автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.13.08/ Винницк. гос. техн. унив. – Винница, 1997. – 16 с.
10. Коваленко Е.А. Разработка и исследование самокалибрующихся вычислительных АЦП и ЦАП для систем цифровой обработки аналоговой информации: Автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.13.08/ Винницк. гос. техн. унив. – Винница, 1997. – 16 с.
11. Марценюк В.П. Разработка и исследование высокопроизводительных АЦП для прецизионных систем весоизмерения: Автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.13.05/ Ин-т киберн. НАН Украины – Киев, 1984. – 17 с.
12. Ракитянська Г.Б. Моделювання та оптимізація швидкодії та алго-

ритмічної надійності надлишкових АЦП порозрядного врівноваження: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 01.05.02/ Вінницьк. держ. техн. унів. – Вінниця, 1998. – 17 с.

13. Перебаскин А. В., Бахметьев А. А., Колосов С. О. Интегральные микросхемы: Микросхемы для аналого-цифрового преобразования и средств мультимедиа. Выпуск 1. – М.: ДОДЭКА, 1996. – 384 с.
14. Володарський Є. Т., Кухарчук В. В., Поджаренко В. О., Сердюк Г. Б. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. Навчальний посібник. – Вінниця: Велес, 2001. – 219 с.
15. Electronic data sheets. – MAXIM, 1999. – 1200 p.
16. Data base Analog Devices components. – www.analog.com, 1995-2002.
17. S. Lewis, et al, “10b 20Msample/s analog-to-digital converter” // IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 27, pp. 351-358, March 1992.
18. T. Matsuura, et. al., “A 92mW, 10b, 15MHz low-power CMOS ADC using analog double-sampled pipelining scheme” // Symposium on VLSI Circuits Dig. Tech. Papers, pp. 98-99, June 1992.
19. K. Nakamura, et. al., “A 85mW, 10bit 40Ms/s ADC with decimated parallel architecture” // Proc. IEEE Custom Integrated Circuits Conf., pp. 23.1.1-23.1.14, May 1994.
20. Stephan Baier. High Speed Signal Processing. Burr-Brown Inc. – 1998. – P.8.2 – 8.41.
21. Dan Sheingold, Editor, Analog-to-Digital Conversion Handbook, Third Edition, Prentice-Hall, 1986. – 230 p.
22. Walt Kester. High speed sampling and high speed ADC. High speed design techniques, Analog Devices Inc. – 1999. – 93 p.
23. Walt Kester, James Bryant. Grounding in High Speed Systems. High speed design techniques, Analog Devices Inc. – 1999. – 6 p.
24. Walt Kester, Drive Circuitry is Critical to High-Speed Sampling ADCs // Electronic Design Special Analog Issue, Nov. 7. – 1994, pp. 43-50.
25. Walt Kester. Basic Characteristics Distinguish Sampling A/D Converters // EDN. – Sept. 3, 1992, pp. 135-144.
26. Walt Kester. Peripheral Circuits Can Make or Break Sampling ADC Systems // EDN. – Oct. 1, 1992, pp. 97-105.
27. System Applications Guide.: Analog Devices. – 1993, Chapter 12-16.
28. Brian Black. Analog-to-Digital Converter Architectures and Choices for System Design // Analog Dialogue 33-8. – 1999. – 4 p.
29. Analog-Digital Conversion Handbook, The Engineering Staff of Analog Devices, Inc. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1986. ISBN 0-13-032848-0. Available from Analog Devices.

30. Practical Analog Design Techniques, edited by Walt Kester. Norwood, MA: Analog Devices, Inc., 1995. ISBN 0-916550-16-8. Available from Analog Devices. Also available free on the Internet as PDF chapters.
http://www.analog.com/support/standard_linear/seminar_material/index.html
31. High Speed Design Techniques, edited by Walt Kester. Norwood, MA: Analog Devices, Inc., 1996. ISBN 0-916550-17-6. Available from Analog Devices. Also available free on the Internet as PDF chapters.
http://www.analog.com/support/standard_linear/seminar_material/index.html
32. Linear Design Seminar, edited by Walt Kester. Norwood, MA: Analog Devices, Inc., 1995. ISBN 0-916550-15-X. Available from Analog Devices.
33. P. C-W. Yu, "Low-Power Design Techniques for Pipelined Analog-to-Digital Converters," Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1996. – 230 p.
34. New High Speed Technique for Pipeline ADC design. – Maher Sarraj: Texas Instruments, Dallas, Texas, USA, 1999. – 5 p.
35. Michael K. Mayes & Sing W. Chin. A Low-Power 14-Bit 2MSample/s Pipelined ADC with On-Chip 32-bit Correction Processor. – National Semiconductor, 2001. – 4 p.
36. Andrew Masami Abo. Design for Reliability of Low-voltage, Switched-capacitor Circuits. - B.S., California Institute of Technology, 1992. – 145 p.
37. Nathan Carter. A 12-b 50Msample/s Pipeline Analog to Digital Converter. - A Thesis Submitted to the Faculty of the Worcester Polytechnic Institute, 2000. - 160 p.
38. George Chien. High-Speed, Low-Power, Low Voltage Pipelined Analog-to-Digital Converter. - B.S.: University of California, Los Angeles, 1993. – 59 p.
39. Andrew M. Abo and Paul R. Gray. A 1.5-V, 10-bit, 14.3-MS/s CMOS Pipeline Analog-to-Digital Converter // IEEE journal of solid-state circuits, vol. 34, no. 5, may 1999. – pp. 599-606.
40. David William Cline. Noise, Speed, and Power Trade-offs in Pipelined Analog to Digital Converters. – University of California at Berkeley, 1999 – 393 p.
41. Аналого-цифровой преобразователь: А.с. 1277396 СССР, МКИ Н 03 М 1/26. / А.Д. Азаров, А.П. Стахов, В.П. Волков (СССР). – №3883962/24; Заявлено 15.04.85; Опубл. 15.12.86, Бюл. №46. – 5 с.

42. Аналого-цифровой преобразователь: А.с. 1197079 СССР, МКИ Н 03 М 1/26. / А.Д. Азаров, А.П. Стахов, В.П. Волков (СССР). – №3745021/24; Заявлено 18.04.84; Опубл. 07.12.85, Бюл. №45. – 4 с.
43. Аналого-цифровой преобразователь: А.с. 750721 СССР, МКИ Н 03 К 13/02. / А.П. Стахов, А.Д. Азаров, М.Е. Бородинский (СССР). – №2573391/24; Заявлено 31.01.78; Опубл. 23.07.80, Бюл. №27. – 4 с. ил.
44. Аналого-цифровой преобразователь: А.с. 928832 СССР, МКИ Н 03 К 13/02. / А.П. Стахов, А.Д. Азаров, Ю.А. Петросюк (СССР). – №2971246/24; Заявлено 04.08.80; Опубл. 15.05.82, Бюл. №18. – 5 с. ил.
45. Аналого-цифровой преобразователь: А.с. 947956 СССР, МКИ Н 03 К 13/02. / А.П. Стахов, А.Д. Азаров, В.А. Лужецкий (СССР). – №2716506/24; Заявлено 22.01.79; Опубл. 30.07.82, Бюл. №28. – 4 с. ил.
46. Аналого-цифровой преобразователь: А.с. 1221750 СССР, МКИ Н 03 М 1/26. / А.П. Стахов, В.И. Моисеев, А.Д. Азаров, В.Я. Стейскал, Т.Н. Васильева (СССР). – №1221750/24; Заявлено 15.08.84; Опубл. 30.08.84, Бюл. №12. – 10 с. ил.
47. Аналого-цифровой преобразователь: А.с. 1231609 СССР, МКИ Н 03 М 1/26. / А.П. Стахов, А.Д. Азаров, В.Я. Стейскал, О.В. Конючевский (СССР). – №3790665/24; Заявлено 18.09.84; Опубл. 15.05.86, Бюл. №18. – 6 с. ил.
48. Устройство для аналого-цифрового и цифроаналогового преобразования: А.с. 1474824 СССР, МКИ Н 03 М 1/26. / А.Д. Азаров, В.П. Марценюк, В.И. Моисеев, В.Я. Стейскал, Н.И. Коваль (СССР). – №4178341/24; Заявлено 09.01.87; Опубл. 23.04.89, Бюл. №15. – 18 с. ил.
49. Аналого-цифровой преобразователь: А.с. 1513619 СССР, МКИ Н 03 М 1/26. / А.П. Стахов, А.Д. Азаров, В.И. Моисеев, В.П. Марценюк, В.Я. Стейскал, Ю.П. Орлович, В.В. Лысюк, Т.Н. Васильева, А.Е. Рафалюк (СССР). – №4257835/24; Заявлено 07.05.87; Опубл. 07.10.89, Бюл. №37. – 12 с. ил.
50. Конвейерный аналого-цифровой преобразователь: А.с. 1381706 СССР, МКИ Н 03 М 1/42 / А.П. Стахов, С.М. Арапов, А.Д. Азаров, В.П. Волков, Е.М. Арапова (СССР) – №4014504; Заявлено 28.01.86; Опубл. 15.03.88, Бюл. №10. – 16 с.: ил.
51. Азаров О.Д., Шапошников О.В. Конвейерный АЦП с разрядными коэффициентами $(-1;0;1)$ на основе информационной надлишковости // 3б. наук. пр. выпуск №8(2001) за результатами VIII науково-технічної конференції “Вимірювальна та обчислювальна техніка

- в технологічних процесах” (ВОТТП8-01). – Хмельницький, 2001. – С.122-124.
52. Азаров О.Д., Шапошніков О.В. Моделі похибок самокаліброваних конвеєрних АЦП на основі інформаційної надлишковості // тези доповідей VI міжнародної конференції “Контроль і управління в складних системах” (КУСС-2001). – Вінниця, 2001. – С.118.
 53. Азаров О.Д., Шапошніков О.В. Метод формування нерозривної шкали перетворення конвеєрних АЦП // Зб. наук. пр. випуск №9(2002), том 2 за результатами IX науково-технічної конференції “Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах” (ВОТТП9-02). – Хмельницький, 2002. – С.14-17.
 54. Конвеєрний аналого-цифровий перетворювач: деклараційний патент №44073А України, 7 Н03М1/42. О.Д. Азаров, О.В. Шапошніков. – №2001042458; Заявлено 12.04.2001; Опубл.: 15.01.2002, Бюл. №1. – 5 с. ил.
 55. Шапошніков О.В. Огляд сучасних методів побудови високопродуктивних конвеєрних аналого-цифрових перетворювачів. // Реєстрація, зберігання і обробка даних, том 3 №1, 2001. – С.55-62.
 56. Азаров О.Д., Шапошніков О.В. Розробка самокаліброваної системи цифрової реєстрації аналогової інформації. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, №2, 1999. – С.73-78.
 57. Азаров О.Д., Шапошніков О.В. Дослідження високопродуктивного аналого-цифрового перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення. // Вісник ВПІ, №4, 2000. – С.76-80.
 58. Азаров О.Д., Шапошніков О.В. Підвищення точності швидкодіючих АЦП конвеєрного типу методом інформаційної надлишковості. // Вісник ВПІ, №5, 2001. – С.68-73.
 59. Азаров О.Д., Шапошніков О.В. Моделі похибок самокаліброваних конвеєрних АЦП на основі інформаційної надлишковості. // Вісник ВПІ, №6, 2001. – С.122-126.
 60. Азаров О.Д., Шапошніков О.В. Підвищення точності високопродуктивних конвеєрних АЦП, побудованих на низькоточних аналогових вузлах. // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології, №2, 2002. – С.38-42.
 61. Chips in the functional section ‘ADC’. – www.chipdir.com, 1999. – 7 р.
 62. Багацкий В.А. Современные аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи. – К.: О-во “Знание” УССР, 1980. – 21 с.
 63. Багацкий В.А. Теория построения, проектирования и практическая реализация аналого-цифровых и цифроаналоговых преобра-

зователей общего применения: Автореф. дис. ...д-ра техн. наук: 05.13.08 / НАН Украины: Ин-т кибернетики им. В.М.Глушкова. – К.: 1994. – 35 с.

64. Вонятыцкий А.Ю., Кондалев А.И. Статистические модели ЦАП на источниках тока: Препр. / АН УССР. Ин-т кибернетики; 88-64. – К.: 1988. – 21 с.
65. Вопросы проектирования преобразователей формы информации / Под ред. А.И. Кондалева. – К.: Наук. Думка, 1977. – 242 с.
66. Высокопроизводительные преобразователи формы информации / А.И.Кондалев, В.А.Багацкий, В.А.Романов, В.А. Фабричев. – К.: Наукова думка, 1987. – 280 с.
67. Кондалев А.И. Системные преобразователи формы информации. – К.: Наук. Думка, 1974. – 334 с.
68. Кондалев А.И., Овчарук М.Е., Сиверский М.П. Комбинированный аналого-цифровой преобразователь // Устройства и элементы систем автоматизации научного эксперимента. – Новосибирск, 1970. – С. 331-335.
69. Кондалев А.И., Романов В.А., Багацкий В.А., Ключан П.С. Вклад Украины в развитие системных преобразователей формы информации // Труды Междунар. симпозиума “Компьютеры в Европе. Прошлое, настоящее и будущее”. – Киев: ИК НАН Украины. – 1998.
70. Кондалев А.И., Ключан П.С., Лаврентьев В.Н. Преобразователи формы информации для контрольно-измерительных систем и вычислительных комплексов // Проблемы создания преобразователей формы информации. Ч.2. – К.: Наукова думка, 1980. – С. 12-20.
71. Преобразователи формы информации для малых ЭВМ / А.И. Кондалев, В.А. Багацкий, В.А. Романов, В.А. Фабричев. – К.: Наукова думка, 1982. – 312 с.
72. Преобразователи формы информации компьютерного типа / Кондалев А.И. – Киев, 1990. – 46 с.
73. Преобразователи формы информации с обработкой данных / Под общ. ред. д.т.н. А.И. Кондалева / Багацкий В.А., Грешищев Ю.М., Самус И.В., Фабричев В.А., – Киев: Наукова думка, 1992. – 264 с.
74. Романов В.А. Теория, методы построения и техническая реализация микропроцессорных преобразователей формы информации с повышенной надежностью и производительностью: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.05 / НАН Украины: Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова. – К.: 1994. – 34 с.
75. Романов В.А. Аналого-цифровые микропроцессоры в информационно-вычислительных и управляющих системах. – К.: Знание,

1984. – 16 с.

76. Фабричев В.А. Теория и практика создания методов и средств электромагнитной совместимости устройств преобразования формы информации: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.05 / НАН Украины: Ин-т кибернетики им. В.М.Глушкова. – К.: 1994. – 38 с.
77. Цифровые измерительные преобразователи и приборы / Под ред. В.М. Шляндина. М.: Высш. Шк., 1973. – 280 с.
78. Цифровые электронно-измерительные приборы / Под ред. В.М. Шляндина. – М.: Энергия, 1972. – 400 с.
79. Шляндин В.М. Цифровые измерительные устройства. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. Шк., 1981. – 335 с.
80. Швецкий Б.И. Электронные измерительные приборы с цифровым отсчетом. – К.: Техніка, 1970. – 204 с.
81. Швецкий Б.И. Электронные цифровые приборы. – К.: Техніка, 1981. – 247 с.
82. Швецкий Б.И. Электронные цифровые приборы. – К.: Техніка, 1991. – 191 с.
83. Высокопроизводительные преобразователи информации на основе избыточных систем счисления: Учеб. пособие / Сост. А.П.Стахов, А.Д.Азаров, В.П.Марценюк и др.; Под общей ред. д-ра техн. наук А.П.Стахова. – К.: УМК ВО, 1988. – 180 с.
84. Избыточные системы счисления, моделирование, обработка данных и системное проектирование в технике преобразования информации: Учеб. пособие / В.А.Поджаренко, А.Д. Азаров, В.А. Власенко, И.И. Коваленко. – К.: Вища шк., 1990. – 208 с.
85. Азаров О.Д. Основи теорії аналого-цифрового перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2004. – 260 с.
86. Алипов Н.В. Помехоустойчивые алгоритмы функционирования преобразователей формы информации // Сборник тезисов докладов V Всесоюзного симпозиума «Проблемы создания преобразователей формы информации». – К.: Наук. думка. – 1984. – Ч. 1. – С. 107-109.
87. Алипов Н.В. Алгоритмы функционирования параллельно-последовательных преобразователей формы информации, корректирующих динамические ошибки // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – Харьков: Вища школа. – 1985. – С. 57-64.
88. Алипов Н.В. Об одном классе корректирующих алгоритмов аналого-цифрового преобразования // Радиотехника. – Харьков: Вища школа. – 1985. – С. 120-125.

89. Алипов Н.В. Разработка теории методов решения задач помехоустойчивого поиска и преобразования информации: Автореф. дис. ...д-ра техн. наук: 05.13.05 / ХПИ. – Харьков, 1986. – 54 с.
90. Автоматизация проектирования аналого-цифровых устройств / Э.И. Гитис, Б.Л. Собкин, А.Н. Подколзин и др. / Под ред. Э.И. Гитиса. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 182 с.
91. Гитис Э.И. Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств. – М.: Энергия, 1970. – 400 с.
92. Гитис Э.И. Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств. – М.: Энергия, 1975. – 448 с.
93. Гитис Э.И., Пискулов Е.А. Аналого-цифровые преобразователи. – М.: Энергоиздат, - 1981. – 360 с.
94. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые) – 5-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 504 с.
95. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы. – К.: Вища школа, 1973. – 364 с.
96. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы. – К.: Вища школа, 1980. – 560 с.
97. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. – К.: Вища школа, 1983. – 455 с.
98. Орнатский П.П., Пономаренко Н.Ф. Измерительный эксперимент: Учебное пособие. – Киев: КПИ, 1979. – 112 с.
99. Аналого-цифровые комплексы: Учеб. пособие / В.Б. Смолов, А.В. Анисимов, Р.Ш. Исмаилов и др. – Л.: ЛЭТИ, 1980. – 96 с.
100. Балашов Е.П., Сидоров В.М., Смолов В.Б. Аналоговые ЗУ управляющих и вычислительных систем // Хранение информации в кибернетических устройствах. – М.: Энергия, 1969. – С. 223-235.
101. Вопросы построения интегральных преобразователей напряжения в код / Смолов В.Б., Шмидт В.К., Варлинский Н.Н., Молодцов В.О., Павлов С.М., Немнонов В.А. // Вопросы преобразования информации. – Таганрог, 1972. – Вып. 6. – С. 3-9.
102. Грушвицкий Р.И. и др. Аналого-цифровые периферийные устройства микропроцессорных систем / Р. И. Грушвицкий, А. Х. Мурсаев, В. Б. Смолов. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 160 с., ил.
103. Микроэлектронные цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи информации / Под ред. В.Б. Смолова. – Л.: Энергия, 1976. – 360 с.
104. Микроэлектронные цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи информации. Под ред. В. Б. Смолова. Л.: Энергия, 1975, – 336 с.

105. Мурсаев А.Х., Смолов В.Б., Угрюмов Е.П. Точные ключи, операционные устройства запоминания напряжений на канальных транзисторах. – Л.: ЛДНТП, 1972. – 30 с.
106. Полупроводниковые кодирующие и декодирующие преобразователи напряжений / Под ред. В.Б. Смолова, Н.А. Смирнова. – Л.: Энергия, 1967. – 312 с.
107. Системы автоматизированного проектирования средств ИИТ: Учеб. пособие / Е.А. Чернявский, В.Б. Смолов, А.В. Минаев. – Л.: ЛЭТИ, 1988. – 58 с.
108. Смолов В.Б. Вычислительные преобразователи с цифровыми управляемыми сопротивлениями. – М.: Госэнергоиздат, 1961. – 135 с.
109. Смолов В.Б. Функциональные преобразователи информации. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 247 с.
110. Алиев Т. М., Сейдель Л. П. Автоматическая коррекция погрешностей цифровых измерительных приборов. – М.: Энергия, 1975. – 216 с.
111. Анисимов Б. В., Четвериков В. Н. Основы теории и проектирования цифровых вычислительных машин. М.: Машиностроение, 1965. – 486 с.
112. Бахтиаров Г. Д. Аналого-цифровые преобразователи. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 230 с.
113. Блажкевич Б. И., Погрибной В. А. Цифровые приборы комбинированного уравнивания. – К.: Наукова думка, 1973. – 124 с.
114. Букреев И. Н., Мансуров Б. М., Горячев В.И. Микро-электронные схемы цифровых устройств. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: “Сов.радио”, 1975. – 368 с.
115. Воробьев Н. Н. Числа Фибоначчи. – 5-е изд. – М.: Наука, 1984. – 144 с.
116. Гальперин М.В. Усилители постоянного тока. – 2-е издание. – М.: Наука, 1987. – 219 с.
117. Гребен А.Б. Проектирование аналоговых интегральных схем. Пер. с англ. М.: Энергия, 1976. – 256 с.
118. Гринфилд Дж. Транзисторы и линейные ИС.: Руководство по анализу и расчету: Пер. с англ. М.: Мир, 1992. – 560 с.
119. Зубчук В.И., Сигорский В.П., Шкуро А.Н. Справочник по цифровой схемотехнике. – К.: «Техника», 1990. – 448 с.
120. Капиев Р.Э. Измерительно-вычислительные комплексы. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 176 с.
121. Карцев А. А. Арифметика цифровых машин. — М.: Наука, 1969.— 576 с.
122. Моисеев В.С. Системное проектирование преобразователей ин-

- формации. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. – 255 с.
123. Муттер В.М. Аналого-цифровые следящие системы. Л.: Энергия, 1974, – 184 с.
124. Островерхов В.В. Динамические погрешности аналого-цифровых преобразователей. Л.: Энергия, 1975, – 176 с.
125. Ракитянська Г.Б. Оптимізація тривалості циклу порозрядного кодування методом динамічного програмування // Вісник ВПІ. – 1996. – №4. – С. 32-36.
126. Савельев А.Я. Арифметические и логические основы цифровых автоматов: Учебник. – М.: Высш. школа, 1980. – 225 с.
127. Савельев А.Я. Прикладная теория цифровых автоматов: Учеб. для вузов по спец. ЭВМ. – М.: Высш. шк., 1987. – 272 с.
128. Самофалов К. Г., Луцкий Г. М. Структуры и организация функционирования ЭВМ и систем. – Киев: Издательское объединение “Вища школа”, 1978. – 392 с.
129. Сигорский В.П., Петренко А.И. Основы теории электронных схем. Киев: Техніка, 1967. – 610 с.
130. Соклоф С. Аналоговые интегральные схемы. Пер. с англ. М.: Мир, 1988. – 583 с.
131. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBM PC: пер. с англ./под ред. У. Томпкинса. – М.: Мир, 1992. – 592 с.
132. Туз Ю.М. Структурные методы повышения точности измерительных устройств. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1976. – 285 с.
133. Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. Навчальний посібник. – Вінниця: Велес, 2001. – 219 с.
134. Володарский Е.Т., Малиновский Б.Н., Туз Ю.М. Планирование организация измерительного эксперимента. – Киев: Выща школа, 1987. – 280 с.
135. Азгальдов Г.Г., Райхман Э.П. О квалиметрии. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 17 с.
136. Хоровец П., Хилл У. Искусство схемотехники. 2 тома.– М.: Мир, 1983.
137. Чахмахсаян Е.А. и др. Математическое моделирование и макро-моделирование биполярных элементов электронных схем. М.: Радио и связь, 1985. – 144 с.
138. Шило В.Л. Линейные интегральные схемы в радиоэлектронной аппаратуре, -2-е изд., перераб. и доп. М.: Сов. радио, 1979. – 368 с.
139. Буч Г. Объектно-ориентированное проектирование с примерами применений – 2-е изд: М.: "Изд-во Бином", СПб: "Невский диа-

лект", 1998. – 638 с.

140. Eduardo Peralnas, Antonio J. Acosta, Adoraciyn Rueda, and Jose L. Huertas. A VHDL-based Methodology for the Design and Verification of Pipeline A/D Converters. – Instituto de Microelectrynica de Sevilla (IMSE-CNM), Universidad de Sevilla, 1999. – 5 p.
141. A. J. Acosta, E. Peralnas, A. Rueda and J.L. Huertas. A VHDL Behavioural Model for Pipeline ADCs. – Proc. International Workshop on ADC Modelling and Testing, pp. 35-39, Bordeaux (France), September 1999.
142. Разевиг В. Соперничество Micro-Cap и Electronics Workbench. // PC Week/ RE, № 29/99, С. 37.
143. Разевич В. Д. Применение программ P-CAD и PSPICE для схемотехнического моделирования на ПЭВМ: В 4 выпусках М.: Радио и связь, 1992.
144. Разевиг В. OrCAD и Cadence. // PC Week/ RE, № 32/99, С. 38-39.
145. Попов В.П. Применение ППП Micro-CAP для автоматизированного анализа цепей/ ТРТУ.-Таганрог, 1995.-85 с.
146. Разевиг В.Д. Система схемотехнического моделирования Micro-CAP IV/МЭИ.-М., 1997.- 128с., ил.
147. Разевиг В.Д. Система схемотехнического моделирования и проектирования печатных плат Design Center (PSpice).-М.: СК Пресс, 1996.-272 с., ил.
148. Разевиг В.Д. Система схемотехнического проектирования Micro-CAP V.-М.: “СОЛОН”, 1997. – 273 с., ил.
149. Матеріали, отримані по мережі Internet: <http://www.spectrum-soft.com/>, <http://www.acceltech.com>, <http://www.ecam.com>, <http://www.microsim.com>, <http://www.interactiv.com>, <http://www.hyperception.com>, <http://www.ni.com>, <http://www.cctech.com>, <http://www.deutsch.com> та інші.
150. H.Ronen, M.Eliahu, A.Harel. Преподавание и изучение основ электроники с использованием профессиональных программ анализа цепей. Европейский журнал по инженерному образованию. Том 20, №4, 1995.
151. Кубицкий А.А., Долин Г.А. Применение Micro-CAP V при проектировании радиотехнических устройств: Учебное пособие, часть I / МТУСИ. – М.: 1998. – 36 с.
152. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учеб. для вузов по спец. «Радиотехника».-М.:Высш. шк.,1988.-448с.: ил.
153. Матеріали журналу PC Week 1997-2002.
154. Разевиг В. Д. Система проектирования печатных плат ACCEL EDA (P-CAD для Windows). М.: СК Пресс, 1997. 368 с.
155. Иванов В.Н., Иванов В.В. Проектирование аналоговых систем на

- специализированных БИС. Л: ЦНИИ РУМБ, 1988. – 140 с.
156. К. Петросянц, А. Суворов, И. Харитонов. Программируемые аналоговые матрицы фирмы Lattice Semiconductor. // <http://www.latticesemi.com>,
157. Hans W Klein. Programmable Analogue - the new generation. // Electronic Engineering, July, 2000. – pp. 19-21.
158. Билл Фиджер. 3-В специализированные ИС: не все так просто, как кажется. // Электроника, 1993, № 14. – С. 32-38.
159. Dave Bursky. BiCMOS process advances deliver bipolar speed. // ED, 1992, № 11. – pp. 43, 44, 48, 50, 56, 58.
160. Красников Г.Я., Дорофеев А.П., Савенков В.Н. БиКМОП ИС - новая перспективная элементная база микроэлектроники // <http://www.mikron.ru/rev1.html>.
161. А. Гольдшер, Э. Аткин. Быстродействующие аналоговые интегральные микросхемы для аппаратуры физического эксперимента. // Chip News. - 2000. - № 6. - С. 12-16.
162. Гольдшер А., Юргаев Б. Цифровой базовый матричный кристалл К 1589ХМ1 // Инженерная микроэлектроника. - 1999. - № 3. - С. 20-25.
163. Аткин Э., Гольдшер А., Кучерский В., Хлопков П. Микросхемы А1181 для устройств обработки сигналов наносекундного диапазона // Chip News. - 1998. - № 3. - С. 24-26.
164. Том Сван. Программирование в Delphi для Windows95. – М.: Диалектика, 1997. – 530 с.
165. Том Сван. Секреты 32 разрядного программирования в Delphi. – М.: Диалектика, 1998. – 580 с.
166. Шумаков П.В. Delphi 3 и создание приложений баз данных. – М.: "НОЛИДЖ", 1998. – 456 с.
167. Федоров А.Г. Delphi 3.0 для всех. – М.: КомпьютерПресс, 1998. – 544с.
168. Фаронов В.В., Шумаков П.В. Delphi 4. Руководство разработчика баз данных. – М.: "Нолидж", 1999. – 560 с., ил.
169. Бахтиаров Г.Д., Малинин В.В., Школин В.П. Аналого-цифровые преобразователи. / Под ред. Г.Д. Бахтиарова. - М.: Советское радио, 1980. - 280 с.
170. John Sylvan. Build Precise S/N amps for fast 12-bit ADCs// Electronic Design.- 1990.- Jan. 25.
171. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы. М.: Высшая школа, 1987.- 479 с